

El uso de la leucaena (*leucaena leucocephala*) y sus beneficios ambientales y económicos por su implementación en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Colombia.

Shirley Valentina Patiño Güiza

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas pecuarias y de medio ambiente (ECAPMA)

Programa de Ingeniería Agroforestal

Vélez

2020

El uso de la leucaena (*leucaena leucocephala*) y sus beneficios ambientales y económicos por su implementación en sistemas agroforestales y silvopastoriles en Colombia.

Shirley Valentina Patiño Güiza

Monografía para optar al título de Ingeniera Agroforestal

Director:

Edwin Jorge Gelvez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas pecuarias y de medio ambiente (ECAPMA)

Programa de Ingeniería Agroforestal

Vélez

2020

Dedicatoria

A mi hijo, Eddie Gabriel Ricardo Galeano Patiño, quien ha sido ficha clave para superarme
y salir adelante.

A mis padres, Estrella Güiza y Jesús Patiño; a mis hermanos, Yudivia, Yovani, Gerson,
Leiman, Yimar, Yessica y Anyuli.

Agradecimientos

Primeramente a Dios quien es la fuente principal de sabiduría y que me ha guiado, cuidado y acompañado hasta este momento y que sé que nunca me abandonará; a Edilson Galeano, quien me apoyó a lo largo de mi carrera.

A mi director, Jorge Edwin Gelvez por su orientación y apoyo en la realización de este documento.

A todos mis tutores que me brindaron sus conocimientos.

Contenido

Resumen	6
Abstract	8
Introducción	10
Planteamiento del problema	12
Justificación.....	14
Objetivos	15
La agroforestería	16
Generalidades de la leucaena (<i>leucaena leucocephala</i>)	17
Beneficio económico generado por el asocio de la <i>leucaena leucocephala</i> en sistemas agroforestales y silvopastoriles.....	22
Leucaena y pasto estrella.....	22
Sistema agroforestal leucaena y cacao	28
Asociación de leucaena con cultivos transitorios.....	29
Beneficio ambiental generado por la implementación de la <i>leucaena leucocephala</i> en sistemas agroforestales y silvopastoriles.	30
Leucaena como mejoradora de la fertilidad del suelo	31
Interacción de la leucaena en el secuestro de carbono	36
Conclusiones	45
Recomendaciones.....	47
Bibliografía	48

Resumen

Este trabajo se enfocó en la revisión de literatura sobre el uso de la leucaena (*leucaena leucocephala*) en arreglos agroforestales y silvopastoriles en Colombia, ya que es una especie leguminosa arbórea perteneciente a la familia de las fabáceas, que puede llegar a medir hasta dieciocho metros de altura, es de fácil propagación y no es tan exigente en sus requerimientos nutricionales ya que se desarrolla muy bien en suelos de baja fertilidad. Esta especie es muy apreciada y utilizada en la ganadería, ya que aporta muy buen forraje para los rumiantes debido a que tiene un 20 a 27 % de proteína, rico en calcio, potasio y vitaminas. Tiene un porcentaje de digestibilidad de 60 a 70 %; y no solo en la ganadería sino en la agricultura como tal, ya que se han hecho estudios que demuestran que esta especie es muy importante al momento de asociarla con otros cultivos (arreglos agroforestales), debido a que aporta alimento para los humanos (las yemas florales, hojas y legumbres tiernas son útiles como ‘verdura’); su madera se aprovecha para fabricar pequeños muebles y piezas artesanales; en otros cultivos como el cacao, se utiliza como cerca viva, brindando mayor fijación de nitrógeno, también, ayuda a que aumente la captura de carbono en otras especies; en los cultivos transitorios, también cumple una función específica, reduciendo los costos de producción debido a que se reducen los gastos en fertilizantes.

Esta es una buena alternativa para poner en práctica en todos los sistemas ganaderos y de producción agrícola dado a que, en el caso de la ganadería, su uso brinda mayor porcentaje de utilidad aumentando la producción de leche y carne disminuyendo los costos de producción siendo un banco de proteína, junto con otras especies; aporta también, en ambos casos, al medio ambiente ya que la tala para

crear potreros se disminuye y se incrementa el uso de la leucaena como cerca viva (aportando al aumento de la diversidad de aves y otras especies en su follaje), barrera rompevientos o sombrío brindando así la sostenibilidad (económica y ambiental) que caracteriza a los sistemas agroforestales.

Palabras claves: Leucaena, sistema silvopastoril, arreglos agroforestales sostenibilidad, ambiente, forrajes, cercas vivas, banco de proteína.

Abstract

This work focused on the literature review on the use of leucaena (*leucaena leucocephala*) in agroforestry and silvopastoral arrangements in Colombia, since it is an arboreal legume species belonging to the Fabaceae family, which can measure up to eighteen meters tall, it is easy to spread and it is not so demanding in its nutritional needs since it develops very well in soils with low fertility. This species is highly appreciated and used in livestock, as it provides very good forage for ruminants because it has 20 to 27% protein, rich in calcium, potassium and vitamins. It has a digestibility percentage of 60 to 70%; and not only in livestock but in agriculture as such, since studies have been made that show that this species is very important when associating it with other crops (agroforestry arrangements), because it provides food for humans (buds flowers, leaves and tender vegetables are useful as 'vegetables'); Its wood is used to make small furniture and handicrafts; in other crops such as cocoa, it is used as a living fence, providing greater nitrogen fixation, it also helps to increase carbon capture in other species; in transitory crops, it also fulfills a specific function, reducing production costs due to the reduction in expenses on fertilizers.

This is a good alternative to implement in all livestock and agricultural production systems since, in the case of livestock, its use provides a higher percentage of profit by increasing the production of milk and meat, reducing production costs, being a protein bank, along with other species; It also contributes, in both cases, to the environment since logging to create paddocks decreases and the use of leucaena as a living fence increases (contributing to the increase in the diversity of birds and other

species in their foliage), windbreak barrier or grim, thus providing the sustainability (economic and environmental) that characterizes agroforestry systems.

Keywords: Leucaena, silvopastoral system, sustainable agroforestry arrangements, environment, forages, living fences, protein bank.

Introducción

La agroforestería en Colombia ha ido evolucionando y se ha estado implementando más en diversos sistemas productivos, ya sea en arreglos agroforestales o en sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles. Esto es muy importante ya que gracias a esto han bajado los costos de producción y por consiguiente se genera mayor utilidad ya que se aprovecha al máximo el espacio vertical; también el medio ambiente sale beneficiado con estas prácticas debido a que el componente forestal es aprovechado al máximo, dando como resultado una producción sostenible en todos el sentido de la palabra.

En Colombia se usa la mayor parte del territorio en pastoreo de ganado, sin importar si son grandes productores, medianos o pequeños, las repercusiones en el medio ambiente van a ser las mismas aunque en diferente escala; muchas veces se talan grandes cantidades de bosque con el fin de hacer potreros para sembrar pasto y poder mantener el ganado haciendo constante rotación; esto trae consigo que el pisoteo de los animales haga que el suelo fértil desaparezca. Por tal razón se buscan alternativas que mitiguen un poco el impacto ambiental y los costos de producción.

Una de las alternativas es la *leucaena leucocephala* que se ha implementado como sistema silvopastoril ya que aparte de ser usada como sombrío, también es una excelente opción para la alimentación del ganado ya que las hojas constituyen un excelente forraje (4 a 23 % de materia fresca; 5 a 30 % de materia seca; 20 a 27 % de proteína, rico en calcio, potasio y vitaminas). Tienen un porcentaje de digestibilidad de 60 a 70 % (Zárate, 1987). También su producción y propagación

es sencilla, dado a que crece en suelos arenosos, de baja fertilidad, de pH neutro o alcalino. Tolera la sequía pero no la inundación. Tolera el fuego de baja intensidad y pueden rebrotar después. Tiene una raíz profunda y extendida. La raíz primaria penetra en las capas profundas del suelo y aprovecha el agua y los minerales por debajo de la zona a la que llegan las raíces de muchas plantas agrícolas (*Jimenez, 2012*). Por esta razón también brinda beneficios ecológicos, ya que mejora la calidad del suelo fijando el nitrógeno a las raíces, promueve la simbiosis de las bacterias como el *Rhizobium*, dando como resultado suelos más productivos (*García, 2011*), siendo una excelente especie para implementar en un sistema agrosilvopastoril ya que reduce costos de insumos para fertilizar el suelo.

Los beneficios que trae su uso en la ganadería como especie forrajera es que al suministrar un kilogramo de hojas de *Leucaena* por animal por día puede llegar casi a triplicar el rendimiento de leche y el incremento de peso vivo (*Thornton & Herrero 2010*) representando así la sostenibilidad ambiental y económica para el productor.

Planteamiento del problema

Eliminar bosques para uso humano como la expansión agrícola y pecuaria en Colombia ha sido un problema que hemos tenido que afrontar a diario, su principal causa es aumentar la superficie de pastoreo para la ganadería, así lo refleja un informe de la FAO donde se analizaron datos de entre el 2000 y el 2010 y se llegó a la terrible conclusión de que el 70% de la deforestación ocurrida en esa década fue a causa de la agricultura comercial (Ecocosas, 2016).

Esto trae consigo un alto costo ambiental ya que se genera la pérdida del hábitat de millones de especies reduciéndose la biodiversidad, se afecta al ciclo del agua y la productividad del suelo, debido a que, en el caso de la ganadería, el continuo pisoteo de los animales invierte los horizontes de este y por consiguiente el suelo ya no es cultivable. En el caso de la producción agrícola, se genera pérdida de hábitats y ecosistemas, de fauna y flora junto con la desaparición de especies autóctonas afectando la existencia y desarrollo de especies vegetales y por consiguiente, la de microorganismos, insectos y otros tipos de especies que hacen vida en el suelo y protegen los cultivos; el suelo se degrada y erosiona, considerando que cultivo y la cosecha constante debilitan el suelo, le cambian el pH y no le dan tiempo suficiente para que se regenere y recupere los nutrientes necesarios. A largo plazo, el terreno se vuelve infértil, como lo decía antes, el ciclo hidrológico se altera, porque en ambos casos (ganadería y agricultura) se necesitan grandes cantidades de agua y se agotan los recursos hídricos (Mijares, 2020).

Como consecuencia, el productor obtiene más gastos en insumos agrícolas como enmiendas y fertilizantes químicos que no hacen más sino terminar de degradar el suelo, y al utilizar constantemente los mismos productos químicos, es posible que se generen plagas muy resistentes a ellos y que sean difíciles de combatir; además, se genera contaminación del aire y del agua por el uso de agrotóxicos contribuyendo al calentamiento global y por supuesto, al cambio climático.

Justificación

Esta monografía se realiza con la finalidad de generar nuevas alternativas para los medianos y pequeños productores en Colombia. Esta se basa en la necesidad que existe de obtener mayor productividad y mejorar los ingresos reduciendo costos de producción protegiendo el medio ambiente y generando mayores resultados productivos.

Además, se busca demostrar que el mediano y pequeño productor puede obtener mejores resultados a bajo costo sin poner en riesgo la biodiversidad y la calidad del suelo, mejorando al mismo tiempo su calidad de vida, utilizando especies arbóreas leguminosas como la leucaena (*leucaena leucocephala*) en arreglos agroforestales y silvopastoriles.

Estudios han demostrado que esta especie (*leucaena leucocephala*) tiene mayor porcentaje de proteína, minerales y vitaminas, a comparación de otras especies forrajeras; es por tal motivo que es una buena opción para implementar en los predios que cuentan con poco espacio, ya que, se puede utilizar como cerca viva. Aparte de esto trae consigo más beneficios debido a que fija el nitrógeno en el suelo y reduce el costo de insumos.

Objetivos

Objetivo general:

Establecer por medio de una revisión bibliográfica qué beneficios ambientales y económicos trae consigo la implementación de la *leucaena leucocephala* en un sistema agroforestal o silvopastoril.

Objetivos específicos:

- Identificar la forma de cómo la *leucaena leucocephala* genera beneficios y qué mecanismos la convierte en una buena opción de asocio en sistemas agroforestales.
- Establecer el beneficio económico generado por el asocio de la *leucaena leucocephala* en sistemas agroforestales y silvopastoriles.
- Identificar el beneficio ambiental generado por la implementación de la *leucaena leucocephala* en sistemas agroforestales y silvopastoriles.

La agroforestería

Es un conjunto de prácticas donde se combinan varias actividades agropecuarias realizadas en un mismo sitio, es decir, se aprovecha al máximo el espacio vertical con el fin de que esta práctica sea sostenible en dos aspectos importantes que es la parte económica y la parte ambiental.

La agroforestería genera oportunidades para alcanzar los objetivos de productividad, ingreso y manejo ambiental que resulte en sistemas saludables y sustentables para futuras generaciones. La agroforestería comienza sembrando la especie forestal correcta, en el lugar correcto, para el propósito correcto (*USDA 2013*).

La asociación de árboles y agricultura estimula y mejora la producción de comida y otros productos a largo plazo, a la vez que protege el suelo y las aguas, expande y diversifica la economía local, provee hábitat para la vida silvestre (*Lazo, 2007*) y asegura un lugar más saludable para vivir y trabajar (*USDA 2013*).

La extensión, la variedad de sistemas y prácticas agroforestales involucra que la agroforestería puede brindar ciertas soluciones de uso del suelo para los agricultores. Se conoce la potencialidad de algunos árboles que son fijadores de nitrógeno en el suelo, la resistencia de ciertos árboles a la sequía, su función como cortina rompevientos y algunos contribuyen siendo forrajeros ricos en proteína (*IRENA, 1993*), son una alternativa para asociarlos en diversos arreglos agroforestales y silvopastoriles.

Generalidades de la leucaena (*leucaena leucocephala*)

La *leucaena leucocephala* es un árbol originario de México, Nicaragua, Honduras y El Salvador y ya en el siglo XVII los españoles lo llevaron a Filipinas. Desde ahí fue introducido a Indonensia, Malasia, Papua Nueva Guinea y suroeste de Asia (*Pachas 2011*).es una especie arbórea de la familia de las leguminosas, su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Plantae.

División: Magnoliophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Orden: Fabales.

Familia: Fabaceae.

Subfamilia: Mimosoideae.

Género: Leucaena.

Especie: *L. leucocephala*

Esta especie se considera como arbustiva cuando es cultivada en los predios con el fin de convertirse en banco de proteína, debido a que regularmente se poda para aprovechar sus ramas, por consiguiente la especie no crecerá; mientras que en las

zonas donde el hombre no tiene acceso, se considera arbórea ya que puede llegar a medir hasta 12 metros de altura.

La *leucaena leucocephala* está compuesta por ramas pubescentes cuando jóvenes y que se tornan glabras con la edad; hojas alternas bipinnadas, de 10 a 20 centímetros de longitud; estípulas persistentes de ovadas a lanceoladas de 1,5 a 4 por 2 milímetros; flores blancas brácteas, peltadas, ciliadas de dos a tres milímetros de largo; Los frutos son vainas aplanadas de 13 a 20 cm de largo y de 2 a 2.5 cm de ancho, de color verde, los cuales se tornan café tostado en su madurez, con semillas numerosas de 1 cm de largo, más largas que anchas. (Calle, 2011)



Esta especie no necesita de suelos muy fértiles para su propagación

La *leucaena leucocephala* se ha utilizado en las cocinas de Centroamérica ya que contiene un alto valor nutricional y funcional, debido a su gran contenido de proteínas, fibra y antioxidantes, por lo cual es fácil de digerir y tiene una elevada actividad para evitar el envejecimiento celular, disminuyendo el riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares o neurodegenerativas (García, 2020).

En la nutrición de los animales rumiantes también es una excelente opción, dado a que su producción de forraje es alta y que crece en suelos arenosos, de baja fertilidad, de pH neutro o alcalino; aparte de esto, contiene una mayor cantidad de proteína que cualquier otra especie forrajera.

Características de la leucaena leucocephala

Se ha demostrado que pequeñas cantidades de leucaena fresca (1 kg/becerro), mantenían un buen crecimiento de los animales, muy similar al grupo que se le suministraba 2 kg de alimento concentrado. (*González 2018*)

Al suministrarle a un grupo de animales 4 kg de follaje de leucaena por día, se obtuvo un cambio significativo en el incremento de peso (+ 455 g), con relación a las ganancias con el sistema de pastoreo tradicional. (*González 2018*)

En cuanto al uso de bancos de proteína de leucaena, se han evaluado animales pastoreando guinea con acceso a 2 horas de leucaena, incrementando la ganancia en 105 g/día, mientras que con el suministro de 1 kg de concentrado se logró un aumento de 177 g/día. Estos resultados de investigación sustentan que el ganadero puede utilizar estos sistemas bajo corte o pastoreo, para incrementar las ganancias y disminuir el tiempo en alcanzar el peso comercial. (*González 2018*)

Experimentos han demostrado que al suministrarle follaje de leucaena a vacas lactantes tipo doble propósito, se obtuvo un incremento de casi un l/vaca/día en los animales que consumieron este forraje. Otro experimento permitió concluir que el costo por litro de leche alcanzado con el suplemento de leucaena fue 51% menos con respecto al alimento comercial. Con el empleo de las arbóreas se sustituye

parcial o totalmente el concentrado, demostrando que son una alternativa en la alimentación animal, que incluso puede mejorar la rentabilidad de las unidades de producción. (González, 2018)

La leucaena tiene un alto valor nutricional tanto para los humanos, como para los animales. En la utilización de la leucaena leucocephala para consumo humano tiene un alto valor nutricional y funcional, debido a su gran contenido de proteínas, fibra y antioxidantes, por lo cual es fácil de digerir y tiene una elevada actividad para evitar el envejecimiento celular, disminuyendo el riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares o neurodegenerativas. (García, 2020).

Los frutos son muy apreciados por su alto contenido en vitamina A y proteínas (46%). Las semillas maduras son empleadas como sustituto de café. Una hectárea puede producir de 10 a 20 toneladas de materia seca comestible comparadas con 8 ó 9 de alfalfa.

En el caso de los animales, Las hojas constituyen un excelente forraje (4 a 23 % de materia fresca; 5 a 30 % de materia seca; 20 a 27 % de proteína, rico en calcio, potasio y vitaminas). Tienen un porcentaje de digestibilidad de 60 a 70 %. (González, 2018)

Tabla 1

Tabla 1. Valores generales que describen la composición nutritiva (%) de 53 accesiones de *Leucaena*.

Table 1. General values that describe the nutritional composition (%) of 53 *Leucaena* accessions.

Variable	Media	Desviación estándar
Materia seca	23,71	3,06
Proteína cruda	25,71	3,94
Proteína verdadera	18,96	3,47
FDN	46,91	6,9
FDA	26,35	4,8
FC	18,48	3,5
LDA	10,44	2,21
Celulosa	11,46	2,54
Calcio	1,89	0,38
Fósforo	0,20	0,03
Potasio	2,19	0,37
Cenizas	7,48	0,96
Polifenoles totales	4,20	1,26
Taninos precipitantes	2,67	1,27
Taninos condensados	3,78	1,68
P. fitico	0,07	0,05
Mimosina	2,89	1,30
DMS	60,24	19,90
DPC	57,83	5,26
DFDN	44,67	6,65

N=53

D.E. García, Hilda B. Wencomo, María G. Medina, P. Moratinos y L.J.

Beneficio económico generado por el asocio de la *leucaena leucocephala* en sistemas agroforestales y silvopastoriles.

La implementación de la *leucaena leucocephala* en sistemas agroforestales y silvopastoriles aparte de traer beneficios ambientales, también trae consigo beneficios económicos, cumpliendo así con el propósito de la agroforestería que es buscar que la producción sea sostenible tanto ambiental, como económico.

Leucaena y pasto estrella

En la Reserva Natural El Hatico, inicia en 1993 la siembra de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) relacionada a pasto Estrella (*Cynodon plectostachyus*) y Algarrobo (*Prosopis juliflora*). En este sistema silvopastoril, se efectuó un programa de investigación en contribución con la Fundación CIPAV, que alcanza tres fases: análisis del sistema con énfasis en el componente suelo, análisis del sistema con énfasis en el componente animal y por última fase, se evaluaron todos sus componentes de manera integral, incluyendo los flujos de energía.

La Reserva Natural El Hatico, esta ubicada en el municipio de El Cerrito, departamento del Valle del Cauca, Colombia, a 3°27'de latitud norte y 76°32'de longitud Oeste, a una altura de 1 000 msnm. La precipitación promedio anual corresponde a 750mm y está distribuida bimodalmente (marzo-mayo y octubre-noviembre). La temperatura promedio es de 24°C, la humedad relativa de 75% y la evaporación promedio es de 1 825 mm/año. El Hatico está en una zona agroecológica nombrada por Holdridge (1978) como Bosque Seco Tropical. (FAO, 1998).

En el establecimiento del sistema silvopastoril, se obtuvo un beneficio por la existencia de árboles de Algarrobo con más de 15 años de plantados. La *Leucaena* se sembró primeramente por semilla sin inocular (6 kg/ha), mezclada con 600g (el 10%) de semilla de sorgo. Por este motivo, se logró el primer pastoreo a los 6 meses después de la siembra. En establecimientos posteriores se ha utilizado la semilla inoculada con la cepa CIAT 1967, alcanzando reducir el primer pastoreo a 3 meses. La distancia manejada entre surcos de *Leucaena* es de 1m y entre plantas no existe una distancia constante debido a que se depositan aproximadamente 15 semillas/m de surco, pretendiendo obtener de 3-6 plantas/m, después de realizar las labores de control de malezas. Los surcos se trazan en dirección oriente-occidente. La siembra de la gramínea, pasto Estrella, se efectuó 30 días después de la siembra de la *Leucaena*, manejando 3 toneladas de material vegetativo. Se utilizó riego posterior a la siembra de la *Leucaena* y de la Estrella. La siembra de la *Leucaena* se ejecuta en la época seca para que coincidiera con la época de lluvias con la siembra de la gramínea. Una vez establecido el sistema, las únicas prácticas de manejo que se realizaron fueron el riego por gravedad en época de sequía y la poda. En este sistema se ha conseguido reducir el riego en el pasto Estrella en un 20% comparado con las praderas de Estrella a plena exposición del sol. Los potreros son pastoreados durante 1 día por vacas de alta producción en un número que oscila entre 65-70 animales y sometidos a un repaso durante el día siguiente por 35 vacas secas. (FAO, 1998).

La causa de esta investigación fue evaluar el efecto de la asociación *Leucaena* y/o Algarrobo con pasto Estrella sobre la composición química del suelo y la influencia

indirecta en la cantidad y calidad de forraje total producido (Estrella, Leucaena y Algarrobo). En este trabajo (Ramírez, 1997), se estableció la producción de biomasa y el contenido de proteína, de los forrajes, se midió la reducción en el uso de urea por efecto de la ejecución de los sistemas silvopastoriles, se calcularon los cambios en la composición química del suelo (N total, P, C, Ca, K, Na) y se trabajó el aporte de materia orgánica dentro del sistema silvopastoril. Se averiguaron los siguientes sistemas silvopastoriles: pasto Estrella + Leucaena + Algarrobo; el sistema pasto Estrella + Algarrobo y el monocultivo de pasto Estrella como control. En estos sistemas se evaluó la producción de biomasa. Para el Estrella, se manejaron áreas de muestreo de 20m² (5 x 4) situadas dentro de parcelas experimentales de 8 000m² (40 x 200), según recomendaciones de Rodríguez (1985). La productividad de la legumbre de Algarrobo, se calculó recolectando el total de frutos en dos árboles adultos. Esta recolección se realizó plateando totalmente la gotera del árbol y cosechando desde el suelo las legumbres caídas como resultado de su madurez fisiológica. De cada muestreo, se obtuvo una submuestra que fue manejada para la determinación del porcentaje de materia seca, proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN). Se manejó material proveniente de dos muestreos. Los cambios en la composición química del suelo se evaluaron en la mitad de la gotera del árbol (Algarrobo), en el límite de la gotera del árbol y a 5m del límite de la gotera del árbol, para la asociación pasto Estrella + Leucaena + Algarrobo y en el límite de la gotera del árbol y a 5m del límite de la gotera del árbol para la asociación pasto Estrella + Algarrobo, y se compararon con el monocultivo. En todos los casos se evaluaron tres profundidades: de 0-10cm, 10-20cm y de 20-30cm. En la medición del aporte de la materia orgánica al sistema silvopastoril se cuantificó, la cantidad

de material residual de podas aportado por la Leucaena en las mismas unidades de muestreo utilizadas en la producción de forraje verde. El estiércol que dejan los bovinos después de pastorear las áreas de muestreo se tomó en áreas de 20m², diferentes a las empleadas en la productividad de forraje y elegidas al azar dentro de dichas parcelas. La contribución de materia orgánica por el forraje de Algarrobo, se midió manejando bandejas de anejo ubicadas en parejas bajo el área de influencia de la gotera del árbol, recolectando 1m² según recomendaciones de Duvigneaud (1981). Se lograron producciones totales de forraje (Materia seca) de 39,3 ton/ha/año en el sistema pasto Estrella + Leucaena + Algarrobo (33,4, 5,6 y 0,3 respectivamente), 38,9 en el sistema pasto Estrella + Algarrobo (38,3 y 0,6, respectivamente) y 23,2 ton/ha/año en el monocultivo de gramínea. Esta mayor producción de biomasa de los sistemas silvopastoriles respecto al monocultivo se atribuye a un mayor beneficio del espacio vertical, tanto aéreo como subterráneo que supone una mayor captación de nutrientes y energía (Benavides, 1983); en este caso, el Algarrobo aporta legumbres, la Leucaena en un segundo estrato aporta forraje al igual que la gramínea en el primer estrato. La inclusión de leguminosas influyó positivamente en la producción de pasto Estrella, 24,6 y 32,7% superior en los sistemas pasto Estrella + Leucaena + Algarrobo y pasto Estrella + Algarrobo sobre el monocultivo, respectivamente. La mayor producción del Estrella del primer sistema, se atribuye a la utilización de fertilización nitrogenada (400kg urea/ha/año) (FAO, 1998).

Los efectos de esta investigación demuestran que la asociación de pasto estrella, leucaena y algarrobo genera mayor productividad en el pasto, reduciendo los costos

de producción de las gramíneas debido a que se reduce el uso de la fertilización, ya que la leucaena, al ser una leguminosa, ayuda a fijar el nitrógeno al suelo aumentando la productividad de este formando consigo más alimento para el ganado ya que es una especie forrajera también, disminuyendo los gastos en alimentación del ganado respecto a concentrados y suplementos alimenticios para estos.

Resultados de investigaciones en la costa colombiana reflejan los beneficios recibidos por la implementación de sistemas silvopastoriles con la leucaena y la ganadería.

Tabla 2

Carga animal y productividad animal en diferentes sistemas evaluados				
Región	Sistema	Carga (Animales/ha)	GDP (g/animal/día)	Producción de carne (kg/ha/año)
Bajo Magdalena	Tradicional	1,2	296,0	129,6
	Pastura mejorada	3,6	453,8	596,2
Valle del Cesar	SSPi con frutales	3,5	651,3	827,3
	SSPi con maderables	4,7	790,2	1341,2

(Cordoba, Narnjo , Cuartas, 2010)

Tabla 3

Comparación de las principales características de un sistema de producción ganadera con pastos mejorados y asociado con *Leucaena leucocephala* a baja y alta densidad.

<i>Indicador</i>	<i>Pastos mejorados sin árboles, con riego, sin fertilización y suplementación</i>	<i>Pastos y L. leucocephala con baja densidad (4,000 plantas ha⁻¹), con riego, sin fertilización y suplementación</i>	<i>SSPi con L. leucocephala (10,000 plantas ha⁻¹), con riego, sin fertilización y suplementación</i>
Forraje verde (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	55	90	185
Carga animal, unidades ganado grande (UGG)	1.3	2.5	5.0
Carga animal (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	526.5	1,125	2,250
Producción de carne (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	180	680	1,900
Producción de leche (L ha ⁻¹ año ⁻¹)	1,000	3,650	10,950

Fuente: Murgueitio y Solorio (2008).

Respecto a las grandes densidades de árboles, éstos nos brinda múltiples beneficios; tales como: el ahorro de fertilizantes nitrogenados, más duración de las pasturas, mejor retención hídrica en el suelo, reducción del efecto desecante de los vientos y minimización del estrés calórico en los animales. también, se alcanzan altos rendimientos de biomasa que permiten más carga animal y un alza en la ingesta de proteína mejorando la producción y calidad de leche y carne. De igual manera, con estos sistemas se captura una mayor cantidad de carbono (C), se reduce la emisión de CH₄ y se aumenta la biodiversidad (Murgueitio et al., 2011).

Sistema agroforestal leucaena y cacao

Igualmente se han hecho experimentos para comprobar la efectividad del uso de leucaena en arreglos agroforestales y de producción orgánica con otras especies leñosas uno de estos proyectos se realizó en la comunidad de Vegas Las Palmas, Distrito de Sixaola, Cantón de Talamanca, teniendo al cacao como cultivo principal.

Se utilizaron algunas variedades de cacao (*teobroma cacao*) resistentes a la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) de la región como CATIE R4, CC 137, CATIE R6, ICS 95, PMCT 58, IMC 67 y CATIE R1, para la sombra permanente se usaron especies maderables como el laurel (*Cordia alliodora*) y cedro (*Cedrella* sp) y algunos frutales.. La sombra permanente no fue muy densa, por lo que se realizó en hileras de 18 o 20 metros de distancia entre hileras y a 6 metros entre plantas, para manejar unos 85 árboles por hectárea. El sistema agro ecológico contempla además de las especies encomendadas para suministrar sombra al cacao, la siembra de otras especies de árboles frutales que contribuyeran un mayor flujo de efectivo al productor, o al menos una fuente para autoconsumo significativo.

La especie *Leucaena leucocephala* se utilizó como cortina rompevientos, puesto se puede mantener de porte bajo con podas regulares, utilizando sus ramas como forraje, ofreciendo beneficios económicos minimizando costos en alimentación del ganado al productor.

Por otro caso, se descubrió que se minimizo el gasto en la aplicación de complementos nutricionales al cultivo de cacao, puesto las plantas de cacao que

estaban cerca de la leucaena poseyeron un mejor desarrollo ya que la leucaena ayuda a la fijación del nitrógeno e incrementa sus niveles en el suelo.

Asociación de leucaena con cultivos transitorios

Se ha implementado la *Leucaena leucocephala* en compañía con maíz, arroz, yuca, calabaza, guayaba, coco, papaya, etc. Estos son subsistemas que necesitan muy poca intervención y poseen la capacidad de estar en constante producción para el consumo. Dependen de la mano de obra familiar, apropiada para subsistencia; parecidos a los ecosistemas naturales y desde el punto de vista económico, son viables debido a la diversificación de sus productos (Díaz, Soto 2015).

Algunas de las ventajas que se tienen en este tipo de sistemas son: Diversificación de la producción, regeneración de la fertilidad del suelo sobre todo con especies fijadoras de nitrógeno, se requiere menos agroinsumos, mejora el ciclaje de nutrientes, se hace un uso intensivo de la tierra, aumenta la productividad por unidad de superficie y la diversificación de la producción, además minimiza los riesgos económicos (Díaz, Soto 2015).

En este tipo de sistemas, también se suele usar la leucaena leucocephala como cerca viva y se usa la madera como postes por su resistencia (Díaz, Soto 2015).

Beneficio ambiental generado por la implementación de la *leucaena leucocephala* en sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Como ya se ha dicho antes, la *Leucaena leucocephala* es una buena alternativa para asociarla con otras especies puesto a que es una leguminosa arbórea que aporta beneficios al suelo y se aprovecha al máximo el espacio vertical con el que se cuenta. Se han hecho varias investigaciones sobre la asociación de cultivos con la *Leucaena leucocephala* y a continuación veremos de qué se trataba y cuáles fueron los resultados de dichas investigaciones.

En Colombia, en los años noventa del siglo XX, se evaluaron, en empresas de productores innovadores, diseños con mayor densidad de arbustos de *Leucaena leucocephala*, el cultivar con mayores ventajas para el ramoneo por su flexibilidad en las ramas (difícil de quebrar), elevada fijación de nitrógeno, menores contenidos de mimosina (un aminoácido tóxico), tolerancia a la sequía, alta capacidad de rebrote, aceptación total por los rumiantes y persistencia después de sembrado (Uribe, 2011). En el nuevo modelo la leucaena se inocula en los SSPi con bacterias fijadoras específicas (*Rhizobium*), se siembra en forma mecanizada en terrenos planos o con pendiente suave y se cultiva consociada a gramíneas tropicales escogidas por su elevada producción de biomasa y respuesta positiva al nitrógeno (Molina, 2011). La aplicación a regiones secas del Caribe con vientos desecantes en la estación sin lluvias, llevó a investigar la incorporación de árboles maderables en forma de cortinas rompevientos. Para optimar la biodiversidad de hábitats, brindar frutos y sombrío, se enriqueció el diseño con árboles en un tercer y cuarto estrato de especies de árboles maderables o frutales y palmas.

Una ventaja de los sistemas basados en *L. leucocephala* es su alta oferta de nutrientes. En los sistemas de las dos regiones de bosque seco tropical en Colombia, la producción de biomasa forrajera fue de 19,2 y 15,6 toneladas de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ y de 3123 y 2856 kg de proteína ha⁻¹ año⁻¹ para el valle medio del río Cauca (región andina) y el valle del río Cesar (Caribe seco), respectivamente. En la asociación de gramíneas elegidas que corresponden al nitrógeno fijado por las altas densidades de leucaena puesta en líneas a distancias no superiores a dos metros (1,30 a 1,60 m lo más frecuente), se brinda una oferta de biomasa que en promedio contiene 16,26% de proteína cruda, con 63,23% de FDN en el valle del río Cauca zona andina y 11,27% de proteína cruda con 59,64% de FDN para el Caribe seco en el valle del río Cesar (Gaviria, 2012).

Leucaena como mejoradora de la fertilidad del suelo

Esta especie presenta nódulos fijadores de nitrógeno en las raíces por su simbiosis con las bacterias *Rhizobium* y/o *Bradyrhizobium* y puede fijar de 75 a 200 kilos de nitrógeno por hectárea al año. Forma nódulos fácilmente con el *Rhizobium* local del suelo, permitiéndole buena adaptación aún en sitios con limitantes de nutrición y humedad. La hojarasca presenta una rápida descomposición y contribuye al aporte de nitrógeno al suelo. Por otra parte, también tiene un gran valor ecológico puesto que florece gran parte del año y las abejas la visitan constantemente, y los herbívoros silvestres se alimentan del follaje. Brinda sombra y refugio a la fauna silvestre. Fomenta la conectividad del paisaje. (González, 2018)

Impide la erosión cuando se planta en curvas de nivel, y mejora la estructura del suelo. Las raíces extendidas desintegran capas de subsuelo impermeables, lo que incrementa la penetración de agua y reduce la erosión de la superficie. Sus raíces profundas acumulan y reciclan minerales (fósforo, potasio, magnesio, calcio y boro) de las capas profundas del suelo. (*González, 2018*)

Según Bueno y Camargo (2015), en una finca localizada en el municipio de Balboa, departamento de Risaralda, Colombia. que hace parte de la subcuenca del río Totuí, cuenca hidrográfica del río Risaralda y de la gran cuenca del río Cauca, se hizo un experimento para determinar la fijación de nitrógeno en el suelo, las características de la zona son 899 m.s.n.m, 27°C de temperatura promedio La precipitación promedio es de 1500 mm/año El relieve predominante es colinas con suelos de bajo contenido de materia orgánica (1.72%), altos niveles de calcio y magnesio (20.1 y 2.1 meq/100g suelo, respectivamente), contenido medio de potasio (0.77 meq/100 g suelo) y pobre en fósforo (5 ppm) (*Carder, 2012*).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos tratamientos, plantas inoculadas y sin inocular. La inoculación de las semillas se realizó durante la fase de vivero. Una parte de esta semilla fue inoculada con el producto Ferbiol (registro ICA 6214) que contenía microorganismos *Rhizobium loti* en solución. Para el establecimiento del experimento en campo se seleccionó un lote de 450 m² el cual se dividió en tres bloques de acuerdo con la pendiente, así: bloque 1 con 20%, bloque 2 con 10% y bloque 3 plano (sin pendiente). Cada bloque fue dividido en dos parcelas de 71.5 m² cada una, en las que se plantaron 48 plantas de *Leucaena* a distancias 1 m x 1 m y una densidad equivalente de 10,000 plantas/ha. Previo al

establecimiento de las plantas se realizaron análisis de suelo para determinar el pH, la cantidad de materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio y el magnesio presente en este.

Quince semanas después del establecimiento en campo se determinaron el número de nódulos de rizobio en raíces y de N foliar total y amoniacal, para ello de cada parcela se tomaron muestras compuestas de suelo de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm de profundidad y plantas completas de *Leucaena*, incluyendo las raíces para realizar el conteo de nódulos. La primera muestra se tomó 8 semanas después del establecimiento y luego cada 5 semanas hasta 7 meses.

Durante la fase en vivero no se observaron nódulos en las raíces. Después de 8 semanas de establecimiento, se observaron nódulos tanto en raíces de plantas inoculadas como no inoculadas. Esta variable mostró diferencias significativas entre tratamientos y entre bloques ($P < 0.05$); el mayor número de nódulos se presentó en el tratamiento sin inoculo (18 ± 4). Durante el experimento no se encontraron diferencias por efecto del tiempo experimental y el valor promedio más alto (25 ± 8.7) se presentó 18 semanas después del establecimiento.

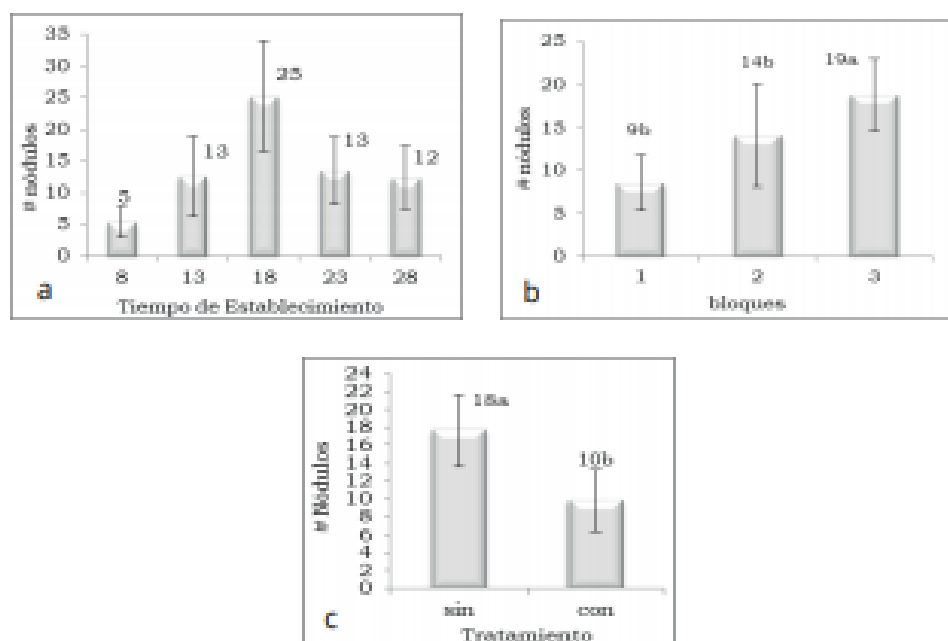
Figura 1

Figura1: promedio de nódulos. a) tiempo de establecimiento; b) bloques; c) tratamiento

Los nódulos en las raíces de *Leucaena* presentaron diferentes formas y tamaños con dimensiones variables entre 1 y 10mm. Los nódulos de mayor tamaño fueron observados principalmente en la raíz principal.

Figura 2

Figura 2: nódulos de rizobio en raíces de leucaena; arriba nódulos activos y abajo nódulos senescentes.

Tanto los valores del N total como amoniacal mostraron diferencias ($P < 0.05$) en relación con el tiempo de establecimiento, pero no por efecto de los tratamientos. El N total no mostró una tendencia definida a variar con el tiempo, mientras que el N amoniacal mostró una clara tendencia a disminuir. El mayor porcentaje de N total se encontró en la semana 28 en la muestra tomada a 25 cm de profundidad. En este muestreo encontró el menor valor de N amoniacal (0.17 ± 0.05 ppm).

La cantidad inicial de N total en el suelo antes de establecer *Leucaena* era de 0.39% equivalentes a 88.86 kg/ha entre 0 y 50 cm de profundidad. Al finalizar el experimento, en la semana 28 después de la siembra, los promedios de N en el suelo eran de 0.77% hasta 25cm y de 0.71% entre 25 y 50 cm de profundidad en el suelo; valores que equivalen a 175 kg/ha y 162 kg/ha, respectivamente, para un total de 338.17 kg/ha.

Lo anterior indica un aporte de 249.31 kg/ha de N para este suelo, si se considera la diferencia entre los contenidos inicial y el final; lo que indica los beneficios de la *Leucaena* en sistemas silvopastoriles contribuyendo con un aporte de 30 a 80 kg/ha por año de N.

Tabla 4

Comparación de las características del suelo, bajo arreglos agroforestales, uno con leucaena y el otro con maíz

Características	Bajo Leucaena	Bajo Maíz
Calificación textural	Franco Arenoso	Franco Arenoso
Ph en Pasta	6,0	6,1
Carbonato de Calcio y Magnesio (%)	0	0
Materia Orgánica (%)	2,22	1,45
Carbono Orgánico (%)	1,29	0,84
Nitrógeno Total (%)	0,16	0,07
Relación C/N	8	11
Fósforo "Extractable"(p.p.m.)	21	15
Sodio Intercambiable (meq/100g)	0,5	0,5
Potasio Intercambiable (meq/100g)	0,5	0,42
Calcio Intercambiable (meq/100g)	26,5	4,7
Magnesio Intercambiable (meq/100g)	1,7	0,9

Fuente: Laboratorio Central de Análisis. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Salta.

Interacción de la leucaena en el secuestro de carbono

Los bosques y la vegetación en general son captadores de carbono. Tienen la facultad de capturar el carbono presente en la atmósfera e integrarlo a través de la fotosíntesis a su estructura. De este modo se puede recolectar carbono que, de lo contrario, estaría libre en la atmósfera. Además, el carbono orgánico de las plantas es más estable que el que se encuentra en forma gaseosa. (*lifeAdaptamed, 2018*)

En el 2009 se llevó a cabo un experimento con el fin de determinar el secuestro de carbono en el sistema agrosilvopastoril y en sus componentes, formado por leucaena (*Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit cv Cunningham) sembrada en alta densidad asociada al pasto *Pennisetum purpureum* Schum. cv. Cuba CT-115 y de la palma de coco (*Cocos nucifera* L. ecotipo Alto Pacífico); y con ello entender el aporte de los sistemas agroforestales al secuestro del CO₂ atmosférico (*Anguiano, Aguire y Palma; 2013*)

Lo primero que se hizo fue el análisis de suelo el cual arrojó el siguiente resultado:

Tabla 5: análisis de fertilidad del suelo

Profundidad cm	pH	M.O. (%)	NO ₃ ppm	PO ₄ ppm	K ppm	CIC Meq	CC (%)	PMP (%)	HA (%)	CE Mmhos cm
0-25	7.50	2.42	16.05	25.87	233.22	21.78	36.83	19.33	17.50	2.05

CIC=Capacidad Intercambio Catiónico

CC= Capacidad de Campo

PMP= Punto de Marchitamiento Permanente

HA= Humedad Aprovechable

CE= Conductividad Eléctrica

(Laboratorio de Análisis de Suelos del INIFAP, Campo Experimental Tecmán, 2009).

El cultivo agrícola fue un cultivo adulto de *C. nucifera* L. cv. Alto Pacífico, con una edad de 45 años y 25 m de altura, aproximadamente, con una distancia de siembra de 8 x 8 m, Los culmos del pasto medían en promedio 60 cm de largo y con mínimo de cuatro yemas germinales, sembrados a una profundidad de 25-30 cm, esparcidos al fondo del surco, con tres a cuatro nudos y las puntas yuxtapuestas. Se utilizaron cuatro tratamientos, que correspondieron al tratamiento cocotero más pasto (T1), T2 = T1 + 40, T3 = T1 + 60 y T4 = T1 + 80 mil árboles de leucaena ha⁻¹. La fecha de siembra de la leucaena se realizó en el mes de febrero de 2009. El forraje se

estableció cuando la leguminosa alcanzó una altura de 60-70 cm, aproximadamente.

El diseño de plantación a una hilera con distancia entre surcos a 1.6 m; 2.40 m y 3.20 m (para las densidades de 80, 60 y 40 mil plantas ha⁻¹, respectivamente) y entre plantas de 15 a 20 semillas m lineal sembradas a chorrillo para asegurar las poblaciones requeridas, con una profundidad de siembra de 2-3 cm.

. La evaluación de los ciclos de pastoreo del sistema agrosilvopastoril cocotero-leguminosa (leucaena)-pasto, se llevó a cabo mediante dos etapas. En la primera, se emplearon 12 hembras lactantes del grupo racial cebú-europeo, en similares condiciones de curva de lactancia, número de partos, estado corporal, fisiológicos y con peso vivo promedio de 474 kg, las cuales fueron sorteadas en grupos de tres animales para cada tratamiento y repetición; en esta fase se estudiaron los primeros tres pastoreos. En una segunda etapa se emplearon seis vacas lactantes del grupo racial cebú-europeo, con similar perfil productivo-reproductivo al grupo antes descrito, bajo un esquema de pastoreo simulado, con la finalidad de que cosecharan el forraje de cada potrero. Para ello, fueron utilizados 12 potreros con una superficie de 880 m² cada uno, para los cuatro tratamientos y tres réplicas correspondientes a las diferentes densidades de leucaena y pasto bajo la sombra de coco. En el manejo del pastoreo, no se utilizó suplementación y se llevó a cabo con apoyo de cerco eléctrico. Se estudió la dinámica del secuestro de C⁺ del sistema agrosilvopastoril coco-leguminosa-pasto durante cinco pastoreos basados en la edad de la leguminosa arbórea a los 160, 190, 230, 290 y 340 días, tiempo total del estudio. La estimación de secuestro de carbono se realizó a partir de los inventarios de la biomasa aérea de los componentes del sistema agrosilvopastoril. En el caso del pasto y la leguminosa

arbórea se cosecharon seis muestras de un metro lineal por tratamiento y réplica. El material recolectado se envió al laboratorio para determinar peso seco a 65 °C; luego del secado, el contenido de carbono se asumió como el 50% de la materia seca. Por lo tanto, el secuestro de C+ ha-1 (carbono retenido en la biomasa) y el secuestro de C+ ha-1 año-1 (crecimiento de biomasa convertido en carbono) se determinaron con base en la densidad y edad de los componentes de cada tratamiento.

El muestreo de la palma de coco se realizó en los individuos localizados en cada tratamiento y repetición; en donde, también, se consideró la producción de coco fruta y la cantidad de peciolos, raquis y foliolos producidas en el tiempo de estudio, mediante la aplicación de fórmulas alométricas para obtener la cantidad de C+ almacenado de materia orgánica arriba del suelo, de acuerdo a la metodología descrita por Frangi y Lugo (1985), con la siguiente fórmula: $B = 4.5 + 7.7 * H$
 Donde: B= Biomasa arriba del suelo (kg individuo) H= Altura total (m) La distribución de los tratamientos se realizó bajo un diseño en bloques al azar, con un arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande fue la densidad de siembra de la leucaena y la parcela chica el tiempo de estudio, con tres replicas por tratamiento; asimismo, se empleó diseño en bloques al azar, para conocer el aporte del sistema en forma acumulada.

Los resultados que arrojaron fueron los siguientes, Los valores acumulados de secuestro de C+ año-1 del sistema agrosilvopastoril muestran que el tratamiento que mayor aporte tuvo fue en donde se asoció a la siembra de 80 mil plantas de leucaena. Asimismo, el cocotero fue el componente que mayor secuestro de C+ t ha-

1 año-1 logró en el sistema, seguido de la leguminosa; y en último término, de la gramínea. A su vez, la alta densidad de siembra de la leucaena, permitió duplicar el secuestro de C+ comparada con lo obtenido con el máximo valor de la gramínea; esto dio como resultado un incremento lineal en el secuestro de carbono al manejar altas densidades de siembra de la leguminosa.

Tabla 6

Secuestro de carbono aéreo del sistema agrosilvopastoril
cocotero-leucaena-pasto Cuba CT-115 en pastoreo ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Tratamiento (miles plantas leucaena ha^{-1})	Secuestro de C+ ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)			Total SASP
	Pasto CT115	<i>Leucaena</i> <i>leucocephala</i>	<i>Cocos</i> <i>nucifera</i>	
0	15.46a	0.00d	85.73d	101.19d
40	9.14b	13.42c	87.17c	109.73c
60	5.83c	27.04b	89.13b	122.00b
80	2.63d	35.72a	90.21a	128.62a
EEM	0.006	0.323	0.004	0.324
P	0.001	0.001	0.001	0.001

EEM = Error Estándar de la Media.

Medias con letras minúsculas distintas en la misma columna representan diferencias (Tukey, $P \leq 0.05$).

El estudio demostró que el secuestro de C+ en los distintos periodos evaluados de pastoreo para los tratamientos con la gramínea, la leucaena, la palma de coco y el sistema agrosilvopastoril completo. En donde se demuestra la interacción entre los tratamientos y la edad del sistema; en todos los casos existió diferencia estadística significativa ($P < 0.001$).

El mayor secuestro de C+ se obtuvo cuando la gramínea no se asoció a la leguminosa arbórea y el menor aporte fue con la mayor densidad de leucaena empleada en todos los periodos estudiados.

En el caso de la leucaena el secuestro de C+ tuvo un incremento lineal al aumentar su densidad de siembra; en este contexto, 60 y 80 mil plantas ha-1 fueron similares en los pastoreos dos, tres y cuatro, con diferencia en secuestro de C+ tanto en el primero como en el quinto pastoreo, en los cuales 80 mil plantas ha-1 produjo el mayor secuestro.

En el caso del coco, los mejores valores estuvieron asociados a la alta densidad tanto en el primero como el quinto pastoreo, con los menores valores del cocotero en donde se asoció exclusivamente a la gramínea,

A su vez, el sistema agrosilvopastoril mostró los mejores valores para el tratamiento de 80 mil árboles de leucaena ha-1. En general, se mostró una tendencia lineal a incrementar el secuestro de C+ en los tratamientos en donde se asoció con la leguminosa arbórea.

Tabla 7

Secuestro de carbono en la biomasa aérea del sistema agrosilvopastoril
cocotero-leucaena-pasto Cuba CT-115 en pastoreo ($t\ C^+ ha^{-1} año^{-1}$).

		Densidad de siembra de leucaena (miles ha)					
Pastoreos	Edad (días)	0	40	60	80	EEM	P
<i>Pennisetum purpureum</i> Cuba CT-115							
1	160	3.02b	1.44e	1.08g	0.57h		
2	190	3.06b	2.08c	1.24f	0.60h		
3	230	3.08b	1.99c	1.15fg	0.50h		
4	290	3.10ab	2.01c	1.18fg	0.51h		
5	340	3.20a	1.62d	1.18fg	0.51h		
						0.02	0.001
<i>Leucaena leucocephala</i>							
1	160	0.00h	2.91g	4.99f	9.39a		
2	190	0.00h	2.67g	5.85cde	6.46c		
3	230	0.00h	2.41g	5.59def	6.36cd		
4	290	0.00h	2.31g	5.25ef	5.82cdef		
5	340	0.00h	3.12g	5.36d	7.69b		
						0.14	0.001
<i>Cocos nucifera</i>							
1	160	84.81r	86.13o	87.84i	91.75a		
2	190	84.94q	86.53m	88.93g	88.92g		
3	230	85.68p	87.11k	89.45e	89.58d		
4	290	83.21n	87.54j	89.11f	89.53d		
5	340	86.98l	88.52h	90.32c	91.25b		
						0.01	0.001
Biomasa aérea secuestro total							
1	160	87.83l	90.48hi	93.91f	101.71a		
2	190	88.00kl	91.28gh	96.02de	95.88de		
3	230	88.76jk	91.51g	96.19cde	96.44cd		
4	290	89.31j	91.86g	95.54e	95.86de		
5	340	90.18i	93.26f	96.86c	99.45b		
						0.15	0.001

Medias con letras mayúsculas distintas en la misma hilera, representan diferencias (Tukey, $P \leq 0.05$).

El tratamiento que mayor secuestro de C^+ obtuvo fue aquel que incorpora la siembra de 80,000 plantas de *Leucaena leucocephala*, pasto Cuba CT-115

(*Pennisetum purpureum*) y palma de coco (*Cocos nucifera*), dado que secuestró 2.44 veces más C+ ha-1año⁻¹, con respecto a aquella en donde sólo se asoció el cocotero con la gramínea. Existió una relación inversa entre el secuestro de C+ del pasto y la densidad de la leguminosa, disminuyendo su aporte en el SASP, en la medida que la densidad de la leucaena se incrementó hasta 80,000 plantas ha. (Anguiano, Aguirre y Palma; 2013)

Con estos resultados podemos observar que el secuestro de carbono fue más efectivo cuando se incrementó el número de individuos de la leguminosa arbórea en el arreglo agrosilvopastoril, donde se encontraban las tres especies mencionadas, en el cual la absorción de carbono fue mayor que cuando se asociaban solo dos especies. Aunque, las gramíneas no incrementaron su absorción de carbono al estar sola en asocio con la leguminosa, fue más efectivo al aumentar el número de árboles.

Los gases de efecto invernadero son los causantes del cambio climático; en la próxima tabla se presenta la forma de emisión y remoción de los mismos concluyendo que los arreglos

Tabla 8:

Fuente de emisión y remoción de los Gases de efecto invernadero

GEI	Fuente de emisión o remoción de GEI	Factor utilizado	Referencia
Metano (CH ₄)	Fermentación Entérica	21.6 g/kg de MS consumido.	IPCC 2006, Radrizzani et al 2011.
	Heces y orina.	Excreción de proteína cruda: 480 kg/toneladas de biomasa animal/año. 0.01 kg de N volatilizado/kg de N aplicado como fracción de fertilizante nitrogenado sintético que se volatiliza como NH ₃ y NOx.	IPCC 2006.
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Fertilización con nitrógeno sintético.	Aplicación de 200kg de N/ha/año en PM.	Guías del IPCC 2006, Tabla 11.3, volumen 4.
	Fijación biológica de nitrógeno	En el SSPi se estimó que la cantidad de N fijado biológicamente fue de 200 kg N/ha/año. 0.01 kg N ₂ O-N/kg N fijado como Factor de emisión para N ₂ O, debido al aporte de N de las especies fijadoras de N al suelo de las praderas.	Dalzell et al 2006. Camacaro et al 2004, Unkovich et al 2008. Guías del IPCC 2006, Tabla 11.1, volumen 4.
Dióxido de Carbono	Tasa de fijación anual por sistema.	Tasa de fijación anual de -0.29 para pasturas degradadas, 0.91 para pasturas mejoradas y 4.64 para sistemas silvopastoriles intensivos, Incluye carbono orgánico del suelo, biomasa radical, biomasa aérea de gramíneas y leguminosas arbustivas (donde aplique).	World Bank 2008, Ibrahim et al 2010a
	Almacenamiento por parte de las especies leñosas.	Incremento medio anual de los maderables - IMA: 12 m ³ /ha/año. Densidad de la madera 850 kg/m ³ . Fracción de carbono de la MS: 0.5.	MADR, CONIF, Proexport, 2009 Cifuentes and Medina 2005 IPCC 2006

Fuente: Naranjo; Chará ; Baraona (2012)

Conclusiones

Con esta revisión bibliográfica pudimos observar que la *Leucaena leucocephala* es una buena alternativa para implementar en los arreglos agroforestales y silvopastoriles, ya que se evidenció los beneficios económicos y ambientales que trae consigo su uso.

Los beneficios económicos son: la reducción de costos en la ganadería, dado que su follaje se utiliza como alimento para estos, disminuyendo así el uso de concentrados y suplementos nutricionales generando mayor producción de leche y carne en espacios más pequeños. En la producción agrícola disminuye el gasto en insumos, porque, al ser una especie fijadora de nitrógeno, se autoabastece del mismo elevando su contenido de proteína (Urzua, 2007) y brindando beneficios nutricionales a los cultivos asociados.

Los beneficios ambientales que trae consigo el uso de la *Leucaena leucocephala* en arreglos agroforestales y silvopastoriles son: el mejoramiento de la fertilidad del suelo, protege los cultivos y el ganado del viento, restaura las tierras degradadas, mejora la conservación del agua, limita el desarrollo de las plagas y evita la erosión del suelo. Si los sistemas agroforestales se diseñan y se gestionan de manera adecuada pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático y su mitigación (FAO 2020).

Los arreglos agroforestales se deben hacer correctamente debido a que en los sistemas agroforestales existen asociaciones de diferentes especies, es posible que éstas compitan por el uso de recursos, es decir, que interfieran en el desarrollo de las

otras; en este caso se intenta diseñar la asociación de manera que las plantas se complementen en sus requerimientos en lugar de competir. En cultivos en callejones con *Leucaena*, por ejemplo, se hallaron pocas raíces en los primeros 20 cm del suelo, que es la capa ocupada por la mayoría de los cultivos anuales; en consecuencia, se supone que la competencia entre los árboles y los cultivos no es un problema en esta asociación (Díaz, Soto 2015).

Recomendaciones

- ❖ Antes de realizar cualquier tipo de arreglo agroforestal se debe hacer un análisis de suelo con el fin de conocer sus características físicas y químicas y así determinar el tipo de arreglo más conveniente.
- ❖ En los sistemas silvopastoriles con la leucaena como componente forestal, se debe mantener el porte bajo de los árboles, con el fin de que el ganado lo pueda consumir con mayor facilidad.
- ❖ En los arreglos agroforestales se hace necesario que las especies a asociar no generen competencia entre ellas sino simbiosis la cual es la finalidad de la agroforestería.
- ❖ Al momento de asociar la *leucaena leucocephala* se debe tener en cuenta que las raíces de la otra especie no sobrepasen los límites de la primera, con el fin de que no se presente competencia entre ellos.

Bibliografía

- (National Research Council, 1984; Montagnini et al. (1992), Centro de Promoción Campesina de la Cordillera, 1992; Brown y Grau, 1993; Proyecto FAO-Holanda DFPA, 1995; GTZ, 1997; Mahecha, 2001).
- Anguiano, J. M., & Aguirre, J., & Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de Cocos nucifera, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1),149-160.
- Bacab, H. M.; Madera, N. B Solorio, F. J. Vera, F. y Marrufo, D. F.(2013) Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 17, núm. 3, 2013, pp. 67-81 Universidad de Colima.
- Berrio J.; Davila A.; Giraldo V. (2007) La reforestacion en Colombia: visión de futuro - agris.fao.org
- Botero, R. & Russo, R.O. (1998). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. En: «Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica ». (Conferencia electrónica). (M. Rosales, H. Osorio, M.D. Sánchez y A. Speedy, Eds.). FAO. Roma. 1p. <http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencial/botero8.htm>
- Bueno L; Camargo J. C. (2015) Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles *Acta Agron.* (2015) 64 (4) p 349-354
- Calle Z.; Murgueitio E.; Giraldo C.; Ospina S. D. (2011) La leucaena *Leucaena leucocephala* no se comporta como una planta invasora en Colombia.
- Camacaro S, Garrido J y Machado M (2004) Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebbbeck* y su transferencia a las gramíneas asociadas. *Zootecnia Tropical* 22 (1) 49-69.
- CATIE (1991) *Leucaena: Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit.) : especie de árbol de uso múltiple en America Central.
- Cino D .M.; Díaz.; Castillo E. (2011) Ceba vacuna en pastoreo con *Leucaena leucocephala*: algunos indicadores económicos y financieros para la toma de decisiones. *Revista Cubana de Ciencia* redalyc.org

- Clavero T.; Zulia R.U.; (2011) Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical.
- Córdoba C, Murgueitio E, Uribe F, Naranjo J y Cuartas C. (2010) Productividad vegetal y animal bajo sistemas de pastoreo tradicional y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en el Caribe seco colombiano. Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. CATIE; CIPAV, Turrialba 160 p
- D.E. García, Hilda B. Wencomo, María G. Medina, P. Moratinos y L.J. Cova 2009Pastos y Forrajes v.32 n.1 Matanzas ene.-mar.
- Díaz M. M.; Soto V. (2015) diseño del sistema agroforestal para la zona rural de la vereda Pascata de turmequé Boyacá.
- Djogo, A.P.Y., Siregar, M.E. y Gutteridge, R.C. (1995). Opportunities and limitations in other MPT genera. En H.M. Shelton, C.M. Piggin y J.L. Brewbaker, eds. Leucaena – opportunities and limitations. Proceedings of workshop, Bogor, Indonesia, p. 39-43. ACIAR Proceedings No. 57
- Ecocosas (2016) La ganadería es la principal causa de la deforestación en América Latina. FAO. Recuperado de: <https://ecocosas.com/noticias/ganaderia-deforestacion-america/>.
- FAO (1999) Agroforestería para la producción animal en América Latina. Producción y sanidad animal 143.
- FAO (2020) Agroforestería Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). Recuperado de: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/es/>
- Farrell J. G.; Altieri M. A. (1997)- Sistemas agroforestales. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable - academia.edu
- Florencia Montagnini; Eduardo Somarriba; Enrique Murgueitio; Hugo Fassola; Beatriz Eibl (2015) sistemas agroforestales funciones productivas, socioeconómicas y ambientales Serie técnica Informe técnico No. 402.
- Galindo V. A; Murgueitio M; Zapata A; Naranjo J; Cuartas C y Murgueitio E. (2011) Interceptación de la luz por leguminosas arbóreas en sistemas silvopastoriles intensivos de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit y su efecto en la producción de biomasa en pastos mejorados.
- Gallego L.; Castro A.; Mahecha L.; Ledesma (2014)- Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl Y *Leucaena leucocephala* en la producción de vacas lecheras.

- García Katia (2020) el poder del guaje. Recuperado de:
<https://elpoderdelconsumidor.org/2020/02/el-poder-de-el-guaje/>
- Gonzalez Kevin (2018) leguminosas arbóreas Diannelis Urbano, Ing. Agr., MSc?, Ciro Dávila, Ing. Agr. MSc,
- Hernández I.; Benavides J. E.; Simón L. (2000) -Efecto de la adición del follaje de *Leucaena leucocephala* en el balance de nutrientes y en el suelo. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Ministerio de Educación Superior Central España Republicana. CP 44280, Matanzas
- Lamela L.; Matías C.; Fung C.; Valdés R. (2001) Efecto del banco de proteína de *Leucaena* en la producción de leche. Pastos y Forrajes. (Vol. 24, Issue 3)
- Larios J. (1991) Establecimiento de un ensayo Agroforestal: Cultivos en Callejones Zea Mays asociado con *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* Trabajo de Diploma. Managua Nicaragua,
- Lazo J.A.; Valdés N. V.; Sampaio R.A. (2007) Diversidad zoológica asociada a un silvopastoreo leucaena-guinea con diferentes edades de establecimiento. FAO.
- lifeAdaptamed (2018) Secuestro de carbono: ¿qué es y cómo funciona? Recuperado de:
<https://www.lifeadaptamed.eu/?p=1098>
- M. Nicolópulos, J. Godoy; (2010) A. Ortín, *Leucaena Leucocephala* en Sistemas Agroforestales del NOA— Ciencia, Vol. 5, N° 18,
- Mendieta M; Rocha Molina, L, R. (2007) *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria, Managua, NI.
- Mijares, O. (2020) La contaminación. Monocultivos y su impacto ambiental.
 RECUPERADO DE: <https://lacontaminacion.org/monocultivos-y-su-impacto-ambiental>
- Murgueitio E.; Chará J. D.; Solarte A. J. (2013) Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad - revistas.udea.edu.co
- Murgueitio E.; Cuellar P.; Ibrahim M.; Gobbi J. (2006) - Adopción de sistemas agroforestales pecuarios Pastos y forrajes. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121676003.pdf>
- Murgueitio R., Enrique; Chará O., Julián; Barahona R., Rolando; Cuartas C., César; Naranjo R., Juan (2014) LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS

(SSPI), HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 17, núm. 3, 2 pp. 501-507

Murgueitio y calle (1999) Agroforestería para la producción animal en América latina.

Recuperado de: <http://www.fao.org/3/x1213s/x1213s02.pdf>

Naranjo J; Cuartas C; Murguetio E; Chará J; Baraona R (2012) Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV.

Pachas (2011), Producir XXI, Bs. As., 19(238):20-24

Paez (2018) ganadería en Colombia, ¿dónde sí, dónde no? Recuperado de:

<https://es.mongabay.com/2018/09/ganaderia-en-colombia-restriccion-areas/#:~:text=El%20pastoreo%20de%20ganado%20es,tropicales%20secos%2C%20humedales%20y%20p%20C3%A1ramos.>

Razz R.; Clavero T. (2006) Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha* Revista de la Facultad de Agronomía.

Restrepo E. M.; Rosales R. B.; Estrada M.; Orozco J. (2016) Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos.

Restrepo E. M.; Rosales R.B.; Estrada M.; Orozco J. (2016) - Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos.

Reyes J. (2006) inoculación con rizobio en áreas ganaderas afectadas por salinidad. Resúmenes. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción en sistemas silvopastoriles.

Rodolfo A. Fallas Castro; Andrea Mora Villegas (2012) Cultivo de Cacao Orgánico en Sistema Agroforestal para Asociación de Productores Vegas Las Palmas, Sixaola, Talamanca – Limón (31-BID).

Sánchez M. D.; Rosales M. (1998) Agroforestería Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical para la Producción Animal. FAO.

Shelton, M. (2000) ¿Qué es agroforestería? - Sistemas agroforestales Leguminosas forrajeras tropicales en los sistemas agroforestales. FAO Unasylva. Vol. 51.

- Thornton P. & Herrero M. (2010) Potencial de reducción de las emisiones de metano y dióxido de carbono del manejo de ganado y pastos en los trópicos. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/283091432_Potential_for_reduced_methane_and_carbon_dioxide_emissions_from_livestock_and_pasture_management_in_the_tropics
- Thornton PK, Ferrero (2010) Adaptación al cambio climático en sistemas agropecuarios en países en desarrollo. Recuperado de: <https://es.csa.guide/csa/supplementary-feeding-of-leaves-of-the-tree-leucaena-leucocephala-to-cattle>
- Urzua (2007) Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile Departamento de Ciencias Vegetales. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Zárate S. (1987) *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata* — MIMOSACEAE — (Rose). Publicado en: *Phytologia* 63(4): 304-306. 1987.